

평면형 다중접합 열전변환기의 제작

權聖遠, 朴世一, 趙鏞明, 姜銓洪

Fabrication of Planar Multi-junction Thermal Converter

Sung-Won Kwon, S.I. Park, Y.M. Cho, J.H. Kang

요 약

교류-직류 변환방법으로 교류전압 및 전류를 정밀측정하기 위한 평면형 다중접합 열전변환기를 제작하였다. 실리콘 기판에 지지된 Si_3N_4 (200 nm) / SiO_2 (400 nm) / Si_3N_4 (200 nm) 샌드위치구조의 두께 $0.8 \mu\text{m}$ (크기 $2 \times 4 \text{mm}^2$)의 멤브레인 위에 가열선과 열전대 접합을 형성하였다. 멤브레인의 세로방향 중앙에 NiCr 가열선을 배치하고, 가열선 주위 또는 그 위에 동-콘스탄탄(Cu-CuNi44)으로 48~156 개의 열전대의 열(熱)접합을 형성하였으며, 열전대의 냉(冷)접합은 실리콘 기판 위에 형성하였다. 직류 10 mA의 입력에 대한 열전대의 출력전압은 종류에 따라 76 mV ~ 382 mV를 얻었으며, 입력 5 mA 일때 출력전압의 단기안정도는 $\pm 5 \sim 15 \text{ppm}/10 \text{min}$ 이었다. 공기분위기에서 감응도는 3.9 ~ 14.5 V/W로 측정되었고, 열전대의 수가 48개인 모델 BF48의 경우 공기중에서의 감응도가 3.9 V/W로써, 56개의 열전대를 갖는 3차원구조 다중접합 열전변환기의 진공분위기에서의 감응도보다 2배이상 크게 나타났다. 또한 측정전류 10 mA 이하, 측정주파수 5 Hz ~ 2 kHz에서의 교류-직류 변환차이는 약 $\pm 1 \text{ppm}$ 이하이었고, 5 kHz 및 10 kHz에서는 약 2~3 ppm이었다.

Abstract

Planar multi-junction thermal converters were fabricated for precise measurements of the ac voltage and current by an ac-dc transfer method. A heater and a thermocouple array were fabricated onto a sandwiched membrane, Si_3N_4 (200 nm) / SiO_2 (400 nm) / Si_3N_4 (200 nm), a thickness of $0.8 \mu\text{m}$ and a size of $2 \times 4 \text{mm}^2$, which is supported by a surrounding frame. The NiCr heater is located at the center of the membrane vertically. Hot junctions of 48~156 pairs of thermocouples (Cu-CuNi44) are located near or onto the heater, and cold junctions are located onto the silicon frame. Output of the thermal converters for 10 mA dc input was 76 mV ~ 382 mV dependent on a model, and short term stability of the outputs was $\pm 5 \sim 15 \text{ppm}/10 \text{min}$ with 5 mA dc input. Responsivity in air was in the range of 3.9 ~ 14.5 V/W. Responsivity of the model BF48 in air which has 48 thermocouples was 2 times or greater than that of 3 dimensional multi-junction thermal converter in vacuum which has 56 thermocouples. AC-DC transfer differences with an input of 10 mA or less were less than $\pm 1 \text{ppm}$ in the frequency range from 5 Hz to 2 kHz, and about 2~3 ppm at 5 kHz and 10 kHz.

1. 서 론

교류전압 또는 전류의 1차표준은 열전형 교류-직류

변환기(thermal ac-dc transfer instrument, 이하 교직변환기)를 이용하여 직류표준에 소급된다^[1,2]. 열전형 교직변환기는 대부분 단일접합 열전변환기(single-junction thermal converter, 이하 SJTC)를 기본소자로 사용하며, 정격입력이 10 mA 또는 수 V 이하이다. SJTC의 입력과 병렬로 전류분류기를 연결하여 열전형 전류변환기(thermal current converter)를 구성함으로써

한국표준과학연구원

(Korea Research Institute of Standards and Science)

<접수일자 : 1996년 6월 5일>

20 A 이하에서의 교류전류표준기(100 kHz 이하)로 활용되고^[1], SJTC의 입력과 직렬로 배울저항기를 연결하여 열전형 전압변환기(thermal voltage converter)를 구성함으로써 1 kV 이하에서의 교류전압표준기(1 MHz 이하)로 활용되고 있다^[2].

직류표준에 소급된 교류표준을 얻기 위해서는 열전 변환기의 오차인 교류-직류 변환차이(ac-dc transfer difference, 이하 교직차)를 평가하고 이 값만큼 보정해야 한다. 교직차는 다음과 같이 정의한다^[3].

$$\delta = \frac{Q_a - Q_d}{Q_d} \quad (1)$$

여기서 Q_a , Q_d 는 각각 열전변환기에서 동일한 출력을 얻는데 필요한 교류입력 및 직류입력의 크기를 나타내며, 직류입력은 +, - 방향의 평균값이다. 이와 같이 열전변환기는 직류표준과 등가적으로 교류를 정밀측정하기 위한 제측소자로서, 직류 및 교류전류에 의해 가열선 저항에서의 온도상승에 따른 열전대출력을 비교함으로써 교류실효값을 측정하게 된다.

SJTC는 구조가 간단하여 제작이 비교적 용이하고 열가이기 때문에 활용도가 높지만, 직류전류가 흐를 때 톨슨 효과 및 펄스에 효과 때문에 전류의 방향에 따라서 출력이 달라져 교직차를 유발한다^[2]. SJTC에 비하여 열전기효과로 인한 오차를 크게 감소시킨 다중접합 열전변환기(multi-junction thermal converter, 이하 MJTC)가 여러나라의 표준기관에서 교류전압 및 전류의 1차표준기로 활용되고 있다^[6]. 기존의 미세금속선을 사용하여 수공제작되던 3차원구조의 MJTC(이하 3D MJTC)를 구할 수 없는 상황이고 또한 최근 산업체에서 표준기로 사용되는 교류측정기의 정확도가 20-30 ppm 수준으로 크게 향상되어, 이들에 대한 원활한 표준의 공급과 함께 국제비교측정에 참여하기 위해서는 교정용표준기의 정확도를 현재의 약 15 ppm^[2]보다 한 단계이상 향상시켜 선진국 수준의 측정능력을 유지해야만 한다. 이러한 요구에 적합한 표준기를 확보하고, 이들을 군(群)으로 형성하여 1차표준기로 활용하기 위하여 평면형 다중접합 열전변환기(planar multi-junction thermal converter, 이하 PMJTC)를 개발하였다.

II. 평면형 다중접합 열전변환기의 설계 및 제작

1. Photo mask 설계제작

PMJTC의 기본구조는 그림 1과 같이 Si 웨이퍼 위에 샌드위치층을 만들고, 그 위에 스퍼터링, photolithography 등의 과정을 몇 단계 반복하여 가열선과 열전대 열(列)을 제작하였다. 가열선과 열전대의 열접합 밀부분에 있는 Si를 이방성 식각으로 제거하여 멤브레인 위에 PMJTC 소자를 형성했다. 가열선을 멤브레인의 중앙에 세로방향으로, 그리고 가열선 양옆으로 열전대열을 배치하여 가열선에 근접한 이중금속접합은 열전대의 열접합(hot junction)을 만들고, Si frame 위에 열전대의 기준온도역할을 하는 냉접합(cold junction)을 만들었다. 이러한 구조의 PMJTC의 출력전압은 열전대의 개수, 열전대 양단의 온도차이 및 열전대로 사용된 두 물질의 상대제벡계수에 비례한다.

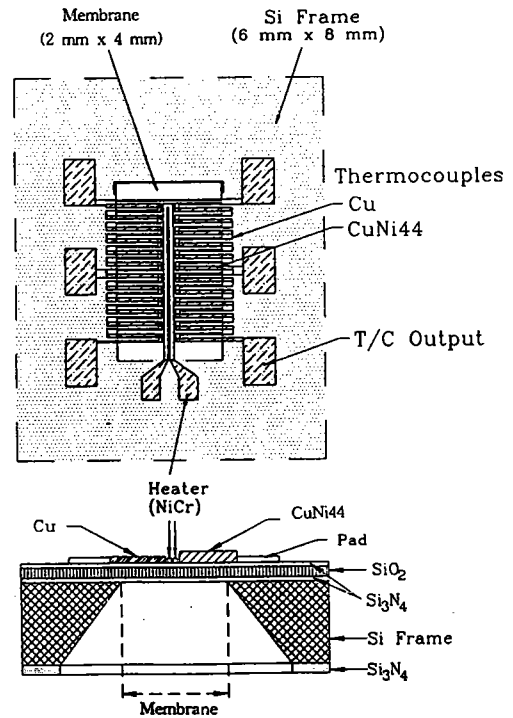


그림 1. 평면형 다중접합 열전변환기의 기본구조.

Fig. 1. Basic configuration of a planar multi-junction thermal converter.

PMJTC를 교직변환기로 활용하기 위해서는 교직차가 작을 것과 함께 출력전압이 수십 mV 이상이고 그 안정도가 높을 것 등의 조건이 요구된다. 교직차를 최소화시키기 위해서 톨슨계수가 작고 저항의 안정도가 우수한 NiCr을 가열선으로 사용하였고, 열전대를 균등

간격으로 배치하고 각 열전대 소선들의 thermal conductance가 동일하도록 제작하여 가열선의 온도분포를 균일하게 하였다. 또 직류전류의 방향에 따라 서로 반대방향으로 나타나는 톰슨 효과 및 펠티에 효과에 의한 부가적인 열이 상쇄되도록 가열선을 bifilar 구조로 하였다. 열전대는 기존의 열전변환기에서 많이 쓰이는 Cu-CuNi44를 사용하였으며, 열전대의 Cu 소선과 CuNi44 소선의 열전도도비($\lambda_{Cu} / \lambda_{CuNi44}$: 약 18)와 각 소선의 설계치수를 적용하여 열전대 소선의 단면적비(q_{CuNi44} / q_{Cu})를 약 22가 되도록 두께를 조정하였다.

표 1에 각 구조에 따른 열전대의 개수(N), 열전대 소선의 폭(W)과 두께(T)를 나타냈는데, 열전대 소선의 폭은 모의실험결과^[7]를 참조하였으며, IG는 열전대 각 소선사이의 간격이며, Gy는 Si frame과 첫 번째 열전대까지의 세로축방향 간격이다. 기호 BF 48 및 BF 156은 가열선이 bifilar 구조이고, 그 폭은 50 μm 이며, 가열선 사이의 간격과 가열선과 열접합사이의 간격은 각각 10 μm 이다. 기호 MLSTA1/A2는 감도를 향상시키기 위하여 폭 90 μm 의 가열선을 직선형으로 배치하고, 가열선 위를 두께 500 nm의 SiO₂로 절연시키고 그 위에 열전대의 열접합이 없히도록 제작하였는데, 좌우의 열전대 열접합사이의 간격은 10 μm 로 하였다.

표 1. 평면형 다중접합 열전변환기의 설계치수.
Table 1. Design parameters for the planar MJTCs.

기 호	N	W(μm)		T(nm)		IG(μm)	Gy(μm)
		Cu	CuNi44	Cu	CuNi44		
BF48	48	7	101	100	156	15	351.5
BF156	156	5	20	40	220	9	327.5
MLSTA1/A2	88	6	35	50	189	10	358

이와 같이 제작된 포토마스크는 가열선, 열전대 1 및 2, contact pad, back side etching 그리고 절연층 제작용 마스크로 총 6장이다. Back side etching mask는 두께 t_w 인 Si wafer의 이방성식각특성을 고려하여 멤브레인의 크기 $2 \times 4 \text{ mm}^2$ 보다 가로 및 세로로 각각 $2 \times t_w \cot 54.74^\circ$ 만큼 크게 제작하였다. 본 연구에서 사용된 Si wafer는 결정방향 (100), 직경 5인치, p형 (boron-doped)으로서 불순물 농도가 $4 \sim 7 \times 10^{15} / \text{cm}^3$, 두께가 610~640 μm 인 것을 사용하였다.

2. PMJTC의 제작.

PMJTC의 제작공정은 그림 2에 나타낸 바와 같이, 우선 실리콘 기판위에 Si₃N₄ (200 nm) / SiO₂ (400 nm) / Si₃N₄ (200 nm) 샌드위치구조의 유전체 박막층을 LPCVD로 만들고(그림 1에서 기판 뒷면은 편의상 Si₃N₄ 층만을 표시했음), NiCr으로 가열선을 입힌 후 표 1의 MLST구조의 PMJTC에 대해서만 가열선 위에 500 nm 두께의 SiO₂ 절연층을 입혔다. 그 다음에는 열전대 소선 Cu와 CuNi44를 스퍼터링하고, contact pad를 증착했다.

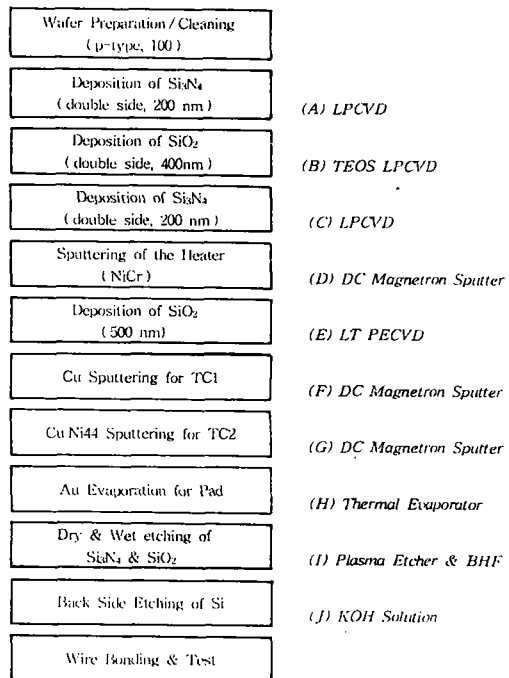


그림 2. 평면형 다중접합 열전변환기의 제작공정.
Fig. 2. Fabrication processes of planar multi-junction thermal converters.

Si wafer 뒷면의 실리콘을 제거하고 두께 800 nm의 멤브레인을 만들기 위해 먼저 건식 및 습식식각하여 멤브레인이 형성될 뒷면의 유전체층을 제거하고, 시료를 $6 \times 8 \text{ mm}^2$ 크기로 잘라서 KOH 수용액으로 이방성식각을 한 후, 직경 50 μm 의 Al 선으로 wire bonding 하였다.

PMJTC의 멤브레인은 소자의 기계적인 지지와 소자사이의 전기적인 절연뿐만 아니라 열차단기능을 해야 하므로, 멤브레인은 기계적, 열적으로 안정된 스트레스가 없는 막이어야 하며, 단열효과를 크게하기 위하

여 가능한 한 얇아야 한다. 이러한 막을 얻기 위하여 압축성스트레스를 갖는 SiO_2 ($3.2 \times 10^9 \text{ dyne/cm}^2$) 층과 인장성스트레스를 갖는 Si_3N_4 ($9.7 \times 10^9 \text{ dyne/cm}^2$) 층으로 Si_3N_4 (200 nm) / SiO_2 (400 nm) / Si_3N_4 (200 nm)와 같은 샌드위치구조의 박막층을 제작하였다. Si_3N_4 층과 SiO_2 층의 두께를 동일하게 제작하였기 때문에 샌드위치층의 전체적인 스트레스는 인장성을 보이지만^{8,9)}, 멤브레인 및 소자의 손상은 없었다.

가열선과 열전대열을 스퍼터링하기 직전에 박막의 부착력 향상과 표면 세척을 위하여 Ar 압력 1.0 Pa, rf power 30 W, dc self-bias voltage -250 V로 시료기판을 plasma cleaning 하였으며, 스퍼터링 타겟 표면을 실제 스퍼터링 조건과 같이 충분히 pre-sputtering 하였다. 특히 유의할 것은 NiCr 박막은 스트레스가 크기 때문에 스퍼터링시 포토레지스트 패턴을 부분적으로 파괴할 수 있다. 이를 막기 위해서 0.4 Pa 이하의 낮은 Ar 압력하에서 -310 V 이상의 높은 전압으로 스퍼터링하였다.

KOH 수용액으로 이방성식각하여 멤브레인을 형성하기 위해서 용액의 침투를 완벽히 방지하고 분리가 용이한 적합한 에칭지그 또는 방법을 찾아야 한다. 여러 가지 방법이 있지만 그림 3과같이 비교적 간단한 방법으로, 약 0.5 mm 두께의 테프론(또는 0.1 mm 두께의 유리) 조각 위에 시료보다 큰 크기로 PR을 수 μm 두께로 입히고, 그 위에 시료를 얹은 다음 약 0.5 mm 두께의 torr seal로 밀폐시키고 24시간 양생시켜 에칭용액의 침투를 완전히 방지하였다. 밀폐시킨 시료를 KOH 수용액의 농도 44 wt. %, 반응온도 85 °C의 조건에서 습식식각하고, 시료밀면의 PR 부위를 한쪽

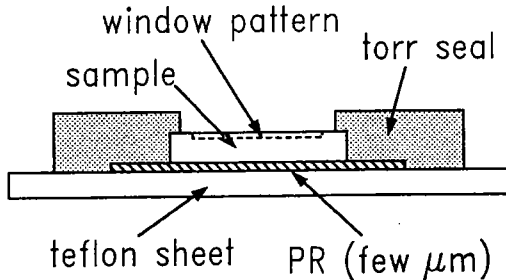
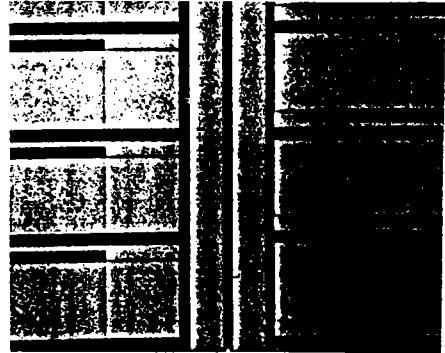


그림 3. KOH 수용액으로 뒷면의 실리콘을 이방성식각하기 위한 시료의 차폐.

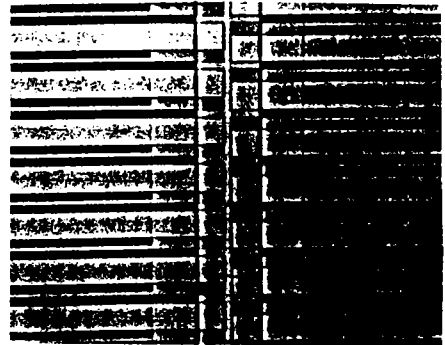
Fig. 3. Sealing of the sample for anisotropic back side etching of the silicon with KOH solution.

만 절단한 후 아세톤에 넣어 멤브레인 및 소자의 손상 없이 시료를 분리하였다.

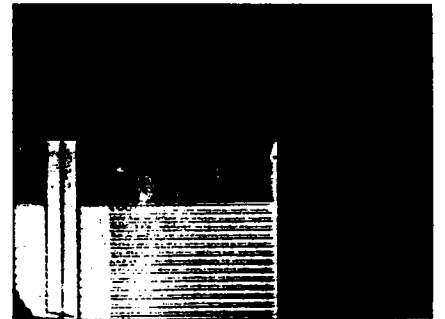
그림 4는 제작된 평면형 다중접합 열전변환기의 패턴 모양과 실리콘에 지지된 멤브레인의 현미경사진이다. BF48 및 BF156은 가열선이 bifilar 구조이고, MLST는 열전대의 열접합이 직선형 가열선 위에 얹혀진 구조이다.



(A) BF48



(B) MLST



Membrane Silicon Frame
(C) BF 156

그림 4. 제작된 평면형 다중접합 열전변환기의 사진.
Fig. 4. Photographs of the fabricated planar MJTCs.

III. PMJTC의 성능평가

1. 출력전압 및 안정도

그림 5에서 보는 바와 같이 입력전류 13 mA에 대한 PMJTC BF48, BF156, MLSTA2의 출력전압은 각각 167 mV, 638 mV, 128 mV를 얻었으며, 3D MJTC의 경우 입력전류 13 mA에서 최대출력 100 mV를 얻었다. 가열선 주위에 열전대의 열접합을 배치한 BF48(열전대의 수: 48 개)의 출력전압이, 가열선 위에 열접합을 배치한 MLSTA2(열전대의 수: 88개) 보다 큰 출력을 얻었다. 이는 SiO₂의 절연특성은 우수하지만 열전도도가 작아서(약 1.3 W m⁻¹ K⁻¹) 가열선과 열전대 열접합사이의 열접촉이 불량하기 때문이다. 이를 개선하기 위하여 절연특성이 우수하고 열전도도가 SiO₂보다 약 30배 이상되는 Al₂O₃를 절연층 재료로 사용할 예정이다.

입력전류 5 mA에서 출력전압의 단기안정도를 측정 한 결과 약 ±5 ~ 15 ppm/10 min 을 얻었는데, 이러한 안정도는 실용되고 있는 3D MJTC 또는 단일접합 열전변환기의 출력안정도와 비슷한 값으로서 실용화 가능한 수준이다.

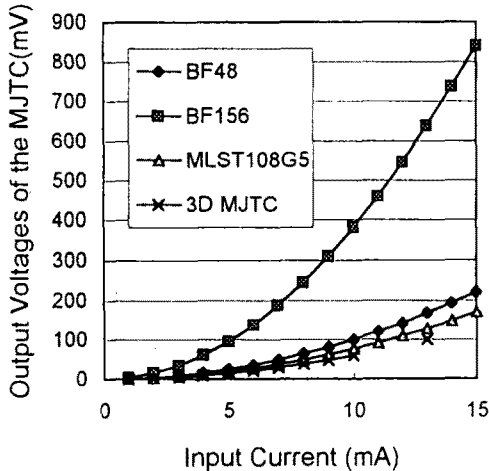


그림 5. 평면형 및 3차원구조의 다중접합 열전변환기의 입력전류에 따른 출력전압.

Fig. 5. Output voltages of the planar and 3-dimensional MJTCs as a function of the input current.

2. 감응도 및 저항

표 2에 제작된 PMJTC의 주요특성을 나타냈는데, 여기서 N 은 열전대의 개수, R_H 는 NiCr 가열선의 저항 (두께 : 660 nm), R_{TC} 는 열전대 저항, P_J 는 입력 5 mA에 대한 가열선에서의 줄전력, S 는 감응도(responsivity)이다.

입력전력에 대한 출력전압의 비로 정의되는 감응도는 공기중에 노출된 상태에서 최대 14.5 V/W 이었고, 열전대 접합의 개수가 증가함에 따라 감응도는 증가하고 있다. 기호 BF48의 경우 감응도가 3.9 V/W로서 당 연구원의 1차표준기인 3D MJTC의 진공분위기에 대한 감응도보다 2배 이상으로 나타났으며, 독일에서 동일재질로 제작보고된 박막형 MJTC^[10](표 2의 G-PMJTC)와 비교할 때 열전대의 개수를 1/2 이하로 줄더라도 비슷한 감응도를 얻었다. 이렇게 큰 감응도를 얻은 것은 열전대의 냉접합이 없었던 Si 기판의 두께를 G-PMJTC의 400 μm 보다 약 1.5배이상 두껍게 만들었으므로 확실한 heat sink 역할을 하여 열전대의 열접합과 냉접합사이의 온도차가 상대적으로 크기 때문이다.

표 2. 제작된 평면형 다중접합 열전변환기의 특성.
Table 2. Some characteristics of the fabricated planar MJTCs.

Model	N	R_H (Ω)	R_{TC} (kΩ)	P_J (mW)	S (V/W)	Remark
BF48	48	260	5.4 *	6.5	3.9	air
BF156	156	265	32.1 **	6.6	14.5	air
MLSTA1	88	95	15.1 **	2.4	8.2	air
MLSTA2	88	95	35.1 *	2.4	8.0	air
G-PMJTC	108	180	5	36	3-4 (8-12)	air(vacuum)
3D MJTC	56	340	0.86	8.5	1.75	vacuum

[열전대 소선의 두께]

* Cu/CuNi44 : 100/156 nm

** Cu/CuNi44 : 50/189 nm

제작된 PMJTC의 가열선 저항은 95 ~ 265 Ω으로 적당히 낮다. 왜냐하면 실용되고 있는 열전형 전압변환기의 입력저항이 100 ~ 400 Ω 범위이고, 또한 표준저항의 경우 안정도를 향상시키기 위하여 허용전

력을 10 mW 이하로 제한하는데, PMJTC에 이 값을 적용할 경우 최대 허용전류는 6.5~10.5 mA 로서 열전형 전압변환기의 정격전류이하이기 때문이다. 한편 열전대 저항은 전체적으로 크게 나타났는데, 저항이 크면 온도상승에 따라 저항에서의 열잡음이 증가하므로 저항을 반이하로 줄이기 위해서 포토마스크를 다시 제작하고 열전대 소선의 두께를 조정할 예정이다.

3. 교류-직류 변환차이(교직차)

열전변환기의 교직차는 출력전압 및 그 안정도특성과 함께 가장 중요한 성능으로서, 측정정확도가 0.1 ppm 이상인 직류표준으로 부터 교류표준을 유도하기 위해서는 식 (1)에서 보는 바와 같이 직류표준값에 교직차만큼 보정을 하여 교정 또는 비교측정에 사용된다. 입력전류 10 mA 이하, 주파수 10 kHz 이하에서 제작된 PMJTC의 교직차를 fast reversed dc^[11] 방법에 의해 자동측정했으며, 5회이상 측정값의 평균을 하나의 측정값으로 삼았다.

그림 6은 입력전류 10 mA (BF156은 6.1 mA)에서의 측정결과로서 제작된 PMJTC(BF156 & MLSTA2)의 교직차는 약 ±1 ppm으로 3D MJTC와 대등한 값을 얻었다. 가청주파수 범위에서 단일접합 열전변환기(SJTC)의 교직차의 가장 큰 요인은 열전기효과인데^[12], 약 -8 ppm의 교직차를 보인 SJTC(SJ-H4(283))와 비교하여 크게 감소했음을 알 수 있다. SJTC는 약 5 mm 길이의 가열선의 중앙부근에 열전대 1개를 열열촉시켰으므로 가열선에 온도구배가 나타나게 되고, 전류의 방향에 따라 톰슨효과에 의한 부가적인 열이 발생하여 교직차가 PMJTC에 비하여 크게된다.

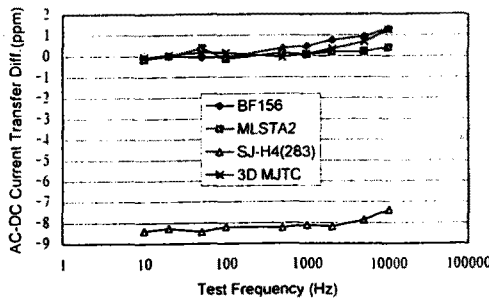


그림 6. 각종 열전변환기의 전류교직차.
Fig. 6. AC-DC current transfer difference of the various thermal converters.

주파수 1 kHz의 경우 10 mA 이하에서의 전류교직차는 그림 7에서와 같이 대부분 ±1 ppm 이하로 나타났으며, 가열선 위에 열전대를 얹은 모델 MLST의 경우 입력이 감소하면서 교직차가 약 2 ppm까지 증가한다. 또 그림 8에서와 같이 측정전류 5 mA, 주파수 5 Hz~10 kHz 범위에서의 전류교직차는 약 ±1 ppm 이하였고, 측정전류를 7.5 mA 및 10 mA로 증가시킬 경우 그림 9에서와 같이 10 kHz에서 약 2.2 ppm 까지 증가하고 있다. 열전변환기에서 측정전류가 증가하면 가열선의 온도증가로 인한 열전기효과에 의한 교직차가 상대적으로 증가한다^[13].

한편 측정전압 0.7 V 및 1.5 V의 경우 그림 9에서와 같이 전압교직차가 2 kHz 이하에서는 ±1 ppm 이하이었으며, 주파수가 증가하면서 모델 MLST의 경우 약 2.8 ppm 까지 증가한다.

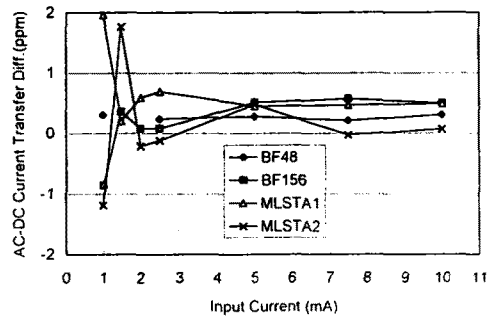


그림 7. 주파수 1 kHz에서 PMJTC의 전류교직차.
Fig. 7. AC-DC current transfer difference of the planar MJTCs at 1 kHz.

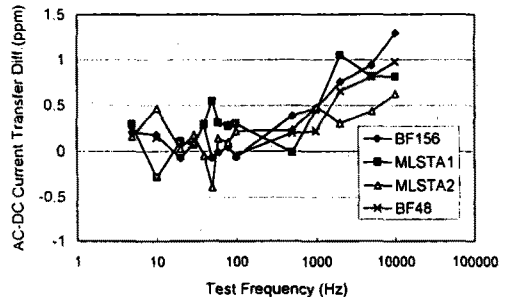


그림 8. 전류 5 mA에서 주파수에 따른 PMJTC의 전류교직차.
Fig. 8. AC-DC current transfer difference of the planar MJTCs at 5 mA depending on the test frequency.

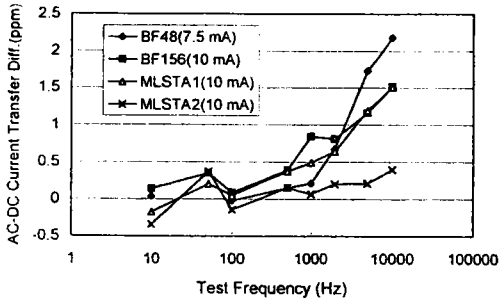


그림 9. 전류 7.5 mA 및 10 mA에서 주파수에 따른 PMJTC의 전류교직차.

Fig. 9. AC-DC current transfer difference of the planar MJTCs at 7.5 & 10 mA depending on the test frequency.

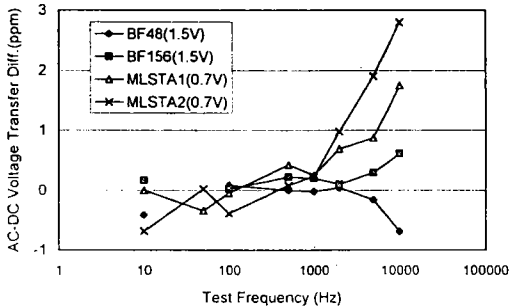


그림 10. 전압 0.7 V 및 1.5 V에서 주파수에 따른 PMJTC의 전압교직차.

Fig. 10. AC-DC voltage transfer difference of the planar MJTCs at 0.7 & 1.5 V depending on the test frequency.

IV. 결론

교류전압 또는 전류의 1차표준은 직류표준으로부터 유도되며, 이때 직류 및 교류신호에 응답하고 오차가 작은 교류-직류 변환기가 매개표준기로 활용된다. 교류-직류 변환방법으로 교류전압 및 전류를 정밀측정용 1차표준기로 활용하기 위한 평면형 다중접합 열전변환기(PMJTC)를 제작하였다.

6×8 mm² 크기의 실리콘 기판에 지지된 스트레스가 상호보완된 Si₃N₄ / SiO₂ / Si₃N₄ 와 같은 구조의 두께 0.8 μm (크기 2×4 mm²)의 멤브레인 위에 가열선과 열전대의 열접합을 형성하였으며, 실리콘기판 위에 열전대의 냉접합을 형성하였다. 열전기효과에 의한 오차

를 줄이기 위하여 틈새계수가 작은 NiCr을 가열선 재료로 사용하였고, 가열선을 bifilar 형태로 제작하였다. 또한 가열선 주위의 온도분포를 일정하게 유지시키기 위하여 각 열전대 소선의 thermal conductance가 동일하도록 소선의 길이, 폭과 두께를 계산하여 열전대열을 제작하였다. 이와 함께 가열선의 입력측과 외부도선을 연결하기 위한 패드를 근접시켜 실리콘 기판위에 배치함으로써 전류방향에 따라 서로 반대방향으로 나타나는 펠티에 효과에 의한 오차를 감소시킬 수 있도록 제작하였다.

가열선의 저항은 95 ~ 265 Ω, 열전대저항은 5.4 ~ 35.1 kΩ 이었고, 직류 10 mA의 입력에 대한 열전대의 출력전압은 종류에 따라 76 ~ 382 mV를 얻었으며, 입력 5 mA 일때 출력전압의 단기안정도는 ±5 ~ 15 ppm/ 10 min 이었다. 공기분위기에서의 감응도는 3.9 ~ 14.5 V/W 이었으며, 가열선 주위에 156개의 열전대를 배치한 경우 최대값을 보였다. 열전대의 수가 48개인 경우 감응도가 3.9 V/W 로서, 56개의 열전대를 갖는 3차원구조 다중접합 열전변환기(3D MJTC)의 진공분위기에서의 감응도보다 2배이상 크게 얻었으며, 동일 재료로 제작보급된 박막형 다중접합 열전변환기와 비교할 때 열전대의 개수를 1/2 이하로 줄이더라도 비슷한 감응도를 얻었다. 또한 측정전류 10 mA 이하, 측정주파수 5 Hz~2 kHz에서의 교류-직류 변환차이는 약 ±1 ppm 이하이었고, 5 kHz 및 10 kHz에서는 약 2 ~ 3 ppm 이었다.

참고문헌

- [1] 권성원, 이래덕, M. Klonz, "교류전류 1차표준용 열전형 전류변환기의 제작", 센서학회지, 제1권, 제1호, pp. 77~83, 1992.
- [2] 권성원, 박영태, 이래덕, "교류전압 국가표준용 열전형 전압변환기의 교직차 평가", 응용물리, 제7권, 제1호, pp. 65~70, 1994.
- [3] F. L. Hermach and E. S. Williams, "Thermal converters for audio-frequency voltage measurements of high accuracy", IEEE Trans. Instrum. Meas. IM-15, pp. 260~268, 1966.
- [4] F. L. Hermach, et al., "Multijunction Thermal Converters as the NBS Primary AC-DC Transfer Standards for AC Current and

- Voltage Measurements ", IEEE Trans. Instrum. Meas., 36, pp. 300~306, 1987.
- [5] M. Klonz, "AC-DC Transfer Difference of the PTB Multijunction Thermal Converter in the Frequency Range from 10 Hz to 100 kHz", IEEE Trans. Instrum. Meas., 36(2), pp. 320~329, 1987.
- [6] T. Matsumura, et al., "AC-DC Difference Measurements on Thermal Voltage Converters at NRC", IEEE Trans. Instrum. Meas., 36(2), pp. 333~336, 1987.
- [7] M. Klonz, "Entwurf und Optimierung eines planaren Vielfachthermokonverters zur präzisen Rückführung des Effektivwertes von Wechselgrößen auf äquivalente Gleichgrößen", PTB-mitteilungen, pp. 243~250, 1990.
- [8] 김명규 등, "스트레스균형이 이루어진 $\text{Si}_3\text{N}_4/\text{SiO}_2/\text{Si}_3\text{N}_4$ 유전체 멤브레인의 제작", 한국센서학회지, 4(3), pp. 51~59, 1995.
- [9] 이종현 등, Thin film membrane의 제작 및 특성 분석연구, 경북대, KRISS, pp. 22~32, 1995.
- [10] M. Klonz, et al., "Accurate Thin Film Thermal Converter on a Silicon Chip", IEEE Trans. Instrum. Meas., 38, pp. 335-337, 1989.
- [11] M. Klonz, et al., "Measuring Thermoelectric effects in Thermal Converters with a Fast Reversed DC", IEEE Trans. Instrum. Meas., 44(2), pp. 379~382, 1995.
- [12] B. D. Inglis, et al., "Current-independent AC-DC transfer error components in single-junction thermal converters," IEEE 8Trans. Instrum. Meas., 34, pp. 294~301, 1985.
- [13] F. L. Hermach, et al., "Thermal Converters for Audio-Frequency Voltage Measurements of High Accuracy", IEEE Trans. Instrum. Meas., 15, pp. 260~268, 1966.

 著 者 紹 介

權 聖 遠(권 성 원)

『센서학회지 제1권 제1호』 논문 92-09, p.77 참조.
 현재 한국표준과학연구원 전자기연구부 전기그룹 근무.
 주관심분야 : 교류전압 및 전류의 정밀측정, 센서, 초정밀 기전소자(MEMS) 등 .

**朴 世 一(박 세 일)**

1961년 9월 30일생. 1985년 2월 서울대학교 자연과학대학 물리학과 졸업(이학사). 1987년 2월 한국과학기술원 물리학과 졸업(이학석사). 1990년 2월 한국과학기술원 물리학과 졸업(이학박사). 1990년 3월~현재 한국표준과학연구원 전자기연구부 선임연구원. 주관심분야 : 초전도 전자공학 응용소자, 센서, 초정밀 기전소자(MEMS) 등.

趙 鏞 明(조 용 명)

1947년생, 1976년 2월 성균관대학교 경영학과 졸업(학사). 1976년~현재 한국표준과학연구원 전자기연구부 전기그룹 근무. 주관심분야 : 직류전압정밀측정, 측정자동화, 센서 등.

姜 鎔 洪(강 전 홍)

『센서학회지 제5권 제3호』 논문 96-5-3-01, p.1 참조.
 현재 한국표준과학연구원 전자기연구부 전기그룹 근무.
 주관심분야 : 센서, 박막재료 특성연구.